

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>G 0 2 B 6/22  
6/16

識別記号

F I

C 0 2 B 6/22  
6/16

審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平9-252496

(22) 出願日 平成9年(1997) 9月17日

(71) 出願人 000003186

株式会社フジクラ

東京都江東区木場1丁目5番1号

(72) 発明者 愛川 和彦

千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジ  
クラ佐倉工場内

(72) 発明者 和田 朗

千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジ  
クラ佐倉工場内

(72) 発明者 姫野 邦治

千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジ  
クラ佐倉工場内

(74) 代理人 弁理士 志賀 正武 (外3名)

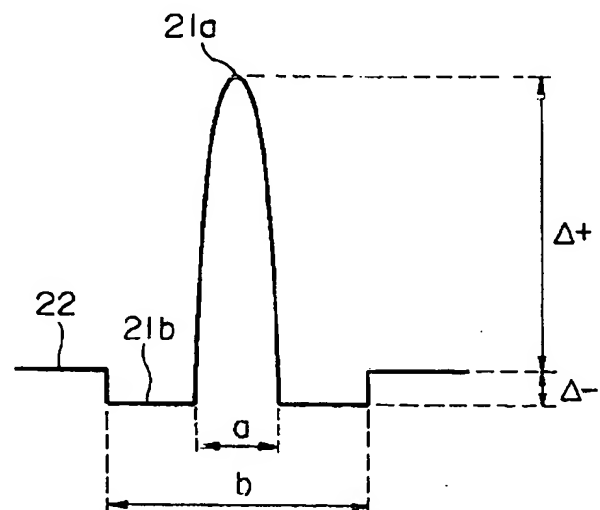
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 分散補償光ファイバ

(57) 【要約】

【課題】 分散スロープと伝送損失が小さい分散補償光ファイバを提供する。

【解決手段】 中心コア部21aと、この中心コア部よりも低屈折率の中間部21bと、この中間部21bよりも高屈折率で、かつ前記中心コア部21aよりも低屈折率のクラッド22とからなり、前記中間部21bの外径bが前記中心コア部21aの外径aの2.5～3.5倍であり、前記クラッド22と前記中間部21bとの比屈折率差 $\Delta$ が、このクラッド22の屈折率をゼロとしたときに $-0.08 \sim -0.2\%$ であり、波長 $1.55 \mu\text{m}$ 帯において、実質的にシングルモード伝搬となり、波長分散が $-80 \text{ ps/nm/km}$ 以下であり、かつ分散スロープが $+0.08 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下であり、かつ曲げ損失が $1.0 \text{ dB/m}$ 以下であることを特徴とする分散補償光ファイバを構成する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 中心コア部と、この中心コア部の外周に設けられ、この中心コア部よりも低屈折率の中間部と、この中間部の外周に設けられ、この中間部よりも高屈折率で、かつ前記中心コア部よりも低屈折率のクラッドとからなり、

前記中間部の外径が前記中心コア部の外径の2.5～3.5倍であり、

前記クラッドと前記中間部との比屈折率差が、このクラッドの屈折率をゼロとしたときに $-0.08 \sim -0.2$  %であり、

波長 $1.55 \mu\text{m}$ 帯において、実質的にシングルモード伝搬となり、波長分散が $-80 \text{ ps/nm/km}$ 以下であり、かつ分散スロープが $+0.08 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下であり、かつ曲げ損失が $1.0 \text{ dB/m}$ 以下であることを特徴とする分散補償光ファイバ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は分散補償光ファイバに関し、特に分散スロープが小さく、低損失の分散補償光ファイバに関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年光増幅技術の進歩に伴い、エルビウム添加光ファイバ増幅器を光通信システムの前段、後段あるいは中途に挿入して用いることによって、波長 $1.55 \mu\text{m}$ 帯において、伝送光の強度を増大させてよりいっそうの長距離伝送を行うことが検討されている。例えば、超長距離無再生中継、光加入者多分配網などの光増幅器を用いた光通信システムが実用化にむけて盛んに検討されている。これらの伝送線路としては、波長 $1.55 \mu\text{m}$ 帯において波長分散が実質的にゼロとなる特性を有する分散シフト光ファイバが好適である。しかしながら波長 $1.55 \mu\text{m}$ 帯における分散が小さいと、特に光ファイバ内の伝送光のエネルギー密度が大きい場合には非線形効果が発生し、伝送特性が劣化するなどの不都合が生じることがある。

【0003】このため非線形効果を抑制する方法として、通常の波長 $1.3 \mu\text{m}$ において波長分散がほとんどゼロであるシングルモード光ファイバ（以下 $1.3 \mu\text{m}$  SMFと記す）と分散補償光ファイバとを組み合わせ、波長 $1.55 \mu\text{m}$ 帯で伝送する方法が提案されている。

【0004】例えば $1.3 \mu\text{m}$  SMFの波長分散は、 $1.55 \mu\text{m}$ において概略 $+17 \text{ ps/nm/km}$ （正の分散値）程度なので、これを用いて波長 $1.55 \mu\text{m}$ 帯の光通信を行うと大きな波長分散を生じることになる。これに対して分散補償光ファイバとは、波長 $1.55 \mu\text{m}$ 帯で絶対値が比較的大きい負の波長分散を有し、比較的小さい使用長さで、例えば数km以上の通常の $1.3 \mu\text{m}$  SMFで生じた波長分散を打消すことができるものである。

【0005】そして分散補償光ファイバを通常の $1.3 \mu\text{m}$  SMFを用いた光通信システムに挿入して用いれば、波長 $1.55 \mu\text{m}$ 帯で光通信を行っても光通信システム全体における波長分散量をほとんどゼロにすることが可能である。よって、波長 $1.55 \mu\text{m}$ 帯の光通信システムにおいて、波長分散による波長歪みを抑制することができる。このため分散補償光ファイバとしては、低損失で、波長 $1.55 \mu\text{m}$ 帯において比較的大きな負の波長分散をもつ必要がある。

【0006】分散補償光ファイバとしては、単峰型の屈折率プロファイル（以下単峰型プロファイルと記す）を有する光ファイバが提案されている。図7は単峰型プロファイルの一例を示すものであり、中心にコア11が位置し、その外周にこのコア11よりも低屈折率のクラッド12が設けられて構成されている。前記コア11は、屈折率を上昇させる作用を有するドーパントとしてゲルマニウムが添加（ドーパ）された石英ガラスからなるものである。ゲルマニウムは酸化ゲルマニウム（ $\text{GeO}_2$ ）として添加される。クラッド12は純石英ガラスからなるものである。 $\Delta$ はコア11とクラッド12との比屈折率差であって、クラッド12の屈折率を基準（ゼロ）として示す。

【0007】このような単峰型プロファイルを有する分散補償光ファイバは、 $\Delta$ が比較的大きく、負の波長分散を有し、 $1.3 \mu\text{m}$  SMFの波長分散を補償することができるように設計されているが、分散スロープが大きいという問題がある。分散補償光ファイバの分散スロープが大きい場合、光通信システム全体の分散スロープが大きくなり、伝送するパルス光の波長によって波長分散がばらつくので、波長多重伝送（WDM伝送）のように波長の異なる複数のパルス光を伝送する用途に使用する場合に不都合である。このため、できるだけ分散スロープが小さい分散補償光ファイバが求められている。一方、 $1.3 \mu\text{m}$  SMFの波長 $1.55 \mu\text{m}$ 帯における分散スロープは $+0.07 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ （正の値）程度である。したがって、さらに好ましくは分散補償光ファイバの分散スロープが負の値であると、 $1.3 \mu\text{m}$  SMFの分散スロープを補償することができる。

【0008】このように、単峰型プロファイルを有するものより分散スロープを小さくすることができる分散補償光ファイバが求められている。これを解決するものとして近年開発され、検討が進められているのが、図1に示すW型屈折率プロファイル（以下、W型プロファイルとよぶ）を有する分散補償光ファイバである。このW型プロファイルは、中心に位置する中心コア部21aと、その外周に設けられ、この中心コア部21aよりも低屈折率の中間部21bと、この中間部21bの外周に設けられ、この中間部21bよりも高屈折率で、かつ前記中心コア部21aよりも低屈折率のクラッド22からなるものである。前記中心コア部21aはその中央にむかっ

て屈折率が高くなっている釣り鐘状の屈折率分布形状を有している。前記中間部21bとクラッド22はともにリング状となっている。

【0009】一般に中心コア部21aは、ドーパントとして屈折率を上昇させる作用を有するゲルマニウムが添加された石英ガラスからなり、中間部21bは、ドーパントとして屈折率を低下させる作用を有するフッ素が添加された石英ガラスからなり、クラッド22は純石英ガラスからなるものである。またaは中心コア部21aの外径、bは中間部21bの外径、 $\Delta$ はクラッド22と中間部21bとの比屈折率差、 $\Delta+$ はクラッド22と中心コア部21aとの比屈折率差を示す。 $\Delta-$ 、 $\Delta+$ はクラッド22の屈折率を基準（ゼロ）として示し、 $\Delta-$ は負の値をとり、 $\Delta+$ は正の値をとる。

【0010】このW型プロファイルを有する分散補償光ファイバは、分散スロープを小さくすることができるが、中間部21bに添加されるフッ素の影響で、伝送損失が増加するという問題がある。図2はフッ素の添加による $\Delta-$ の変化と伝送損失との関係を示すグラフである。このグラフより、 $\Delta-$ がー（マイナス）0.2%よりも小さくなると伝送損失が著しく大きくなることがわかる。従来のW型プロファイルにおいては、分散スロープを小さくするために $\Delta-$ は-0.3~-0.45%程度に設計されているので、伝送損失が大きくなってしまふのである。

【0011】ところで、このW型プロファイルを有する分散補償光ファイバの製造においては、本出願人が提案した特開平7-157328号公報に記載されているVAD法を利用して、プリフォーム（ファイバ母材）の中心コア部21aと中間部21bとなる部分を一連の工程で製造する方法を採用すると好適であると考えられる。

【0012】しかしながら従来のW型プロファイルを有する分散補償光ファイバにおいては、フッ素の添加量が多量であるためにこの方法を適用できないのが現状である。ところで、ゲルマニウム、フッ素などのドーパントが添加された石英ガラスの融点は純石英ガラスの融点よりも低くなることが知られている。この方法は、この融点の差を利用してプリフォームを製造するものであって、具体的には以下のような方法を想定することができる。以下プリフォームにおいて、中心コア部21aとなる部分を中心コア部母材、中間部21bとなる部分を中間部母材、クラッド22となる部分をクラッド母材ということがある。

【0013】具体的にはVAD法によって、中心にゲルマニウム添加石英ガラスの微粒子を積層させ、この外周に純石英ガラスの微粒子を積層させた円柱状の多孔質体を形成する。この多孔質体を、例えば焼却炉中で前記ゲルマニウム添加ガラスの融点よりも高く、かつ純石英ガラスの融点よりも低い温度で加熱すると、中心のゲルマニウム添加ガラス微粒子のみのガラス化を進行させるこ

とができる。

【0014】について、これをフッ素含有ガス雰囲気中で純石英ガラスの融点よりも高い温度で加熱すると、外周部の純石英ガラス微粒子が透明ガラス化されるとともに、この部分に選択的にフッ素が添加された透明ガラス棒が形成される。このとき中心のゲルマニウム添加石英ガラスは、先の工程でガラス化され、そのかさ密度が上昇しているため、外周部の純石英ガラス微粒子にのみフッ素を選択的に添加することができるのである。さらにこの透明ガラス棒の外周上に、VAD法により純石英ガラス微粒子を積層させ、純石英ガラスの融点以上に加熱し、透明ガラス化してクラッド22となる部分を構成し、プリフォームとする。最後にこのプリフォームを線引きして外径約125 $\mu$ mの光ファイバとする。

【0015】この方法は、一連の工程で、異なるドーパントが添加されている中心コア部母材と中間部母材とを形成することができるので効率がよい。しかしながら従来のW型プロファイルにおいては、中間部21bに添加されるフッ素は通常1.2重量%以上であり、多量であるために、このフッ素の影響によって中心コア部母材の屈折率が低下するため、この方法を適用することは困難である。例えばこのフッ素の影響を見越して、ゲルマニウムの添加量を多くする方法も考えられるが、コストの上昇が問題となる。また、材料組成と製造条件を試行錯誤で求める予備実験が必要となる。

【0016】このため、W型プロファイルを有する分散補償光ファイバは、中心コア部21aとなる中心コア部母材をVAD法によって作製した後に、中間部21bとなるフッ素添加石英ガラスを外づけする方法によって製造されている。しかしながらこの方法によると、中止コア部母材の外周表面に、多量のゲルマニウムの添加に起因する凹凸が形成されるため、この表面を外削によって滑らかにする操作が必要となる。すると、この外削によって中心コア部母材に偏心を生じ、偏波分散が大きくなるという新たな問題が発生する。また製造操作が複雑であり、さらには製造途中で中心コア部母材の表面が汚染される可能性がある。

【0017】

【発明が解決しようとする課題】本発明は前記事情に鑑みてなされたもので、1.3 $\mu$ m SMFの波長分散を補償することができるとともに、分散スロープが小さく、かつ伝送損失が小さい分散補償光ファイバを提供することを目的とする。さらにはできるだけ効率よく製造でき、偏波分散が小さい分散補償光ファイバを提供することを目的とする。

【0018】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するために、本発明においては、中心コア部と、この中心コア部の外周に設けられ、この中心コア部よりも低屈折率の中間部と、この中間部の外周に設けられ、この中間部より

も高屈折率で、かつ前記中心コア部よりも低屈折率のクラッドとからなり、前記中間部の外径が前記中心コア部の外径の2.5〜3.5倍であり、前記クラッドと前記中間部との比屈折率差が、このクラッドの屈折率をゼロとしたときに $-0.08 \sim -0.2\%$ であり、波長 $1.55 \mu\text{m}$ 帯において、実質的にシングルモード伝搬となり、波長分散が $-80 \text{ ps/nm/km}$ 以下であり、かつ分散スロープが $+0.08 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下であり、かつ曲げ損失が $1.0 \text{ dB/m}$ 以下であることを特徴とする分散補償光ファイバを提案する。この分散補償光ファイバにおいては、上述の中間部の外径と中心コア部の外径の比率と、クラッドと中間部との比屈折率差の数値範囲から適切な値を選択して設計することによって、単峰型プロファイルを有する分散補償光ファイバよりも分散スロープを小さくできると同時に、従来のW型プロファイルを有する分散補償光ファイバよりも伝送損失が小さい分散補償光ファイバを提供することができる。具体的には波長 $1.55 \mu\text{m}$ 帯における伝送損失が $0.39 \text{ dB/km}$ 以下の分散補償光ファイバが得られる。

#### 【0019】

【発明の実施の形態】以下本発明を詳細に説明する。本発明においては、図2に示すフッ素の添加による $\Delta$ の変化と伝送損失との関係から、図1に示すW型プロファイルにおいて、 $\Delta$ が $-0.2\%$ 以上の範囲であっても、分散スロープが小さい分散補償光ファイバを設計することができるかどうか検討した。図2に示すグラフから、 $\Delta$ が $-0.2\%$ 以上であれば、フッ素の添加量がゼロの場合、すなわち図7に示す単峰型プロファイルを有するものと同程度の伝送損失となることが予測される。またこの場合、プリフォームの製造時にフッ素を添加するにおいて、例えば焼却炉における雰囲気ガス中のフッ素ガス濃度は $1 \text{ vol}\%$ 以下となる。従来のW型プロファイルを有するものにおいて、例えば $\Delta$ が $-0.3\%$ の場合、前記フッ素ガス濃度は約 $6 \text{ vol}\%$ 量%なので、大幅なコストダウンが見込まれる。

【0020】このとき、実現すべき分散補償光ファイバの特性の目標値は、波長 $1.55 \mu\text{m}$ 帯において、実質的にシングルモード伝搬となり、波長分散が $-80 \text{ ps/nm/km}$ 以下であり、かつ分散スロープが $+0.08 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下であり、かつ曲げ損失が $1.0 \text{ dB/m}$ 以下であることとした。

【0021】本発明において波長 $1.55 \mu\text{m}$ 帯とは、波長 $1530 \text{ nm}$ から $1580 \text{ nm}$ の波長領域を指すものである。波長 $1.55 \mu\text{m}$ 帯において、波長分散が $-80 \text{ ps/nm/km}$ よりも大きく、ゼロに近い場合には、分散補償光ファイバの使用長さが長くなるなどの不都合がある。また、波長 $1.55 \mu\text{m}$ 帯において分散スロープが $+0.08 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下であることによって、光通信システム全体の分散スロープを小さく

することができる。

【0022】曲げ損失は波長 $1.55 \mu\text{m}$ で曲げ直径(2R)が $20 \text{ mm}$ の条件の値をいうものとする。分散補償光ファイバは、小さなコイルに巻かれた状態で伝送路中に挿入されることが多く、曲げ損失が $1.0 \text{ dB/m}$ をこえると損失が大きくなるため好ましくない。

【0023】さらに分散補償光ファイバは、通常 $1.3 \mu\text{m}$  SMFを補償するものなので、波長 $1.55 \mu\text{m}$ 帯の実際の使用状態において常にシングルモード伝搬を行う必要がある。このためにカットオフ波長は、実際の使用状態において実質的にシングルモード伝搬を保証するものでなければならない。カットオフ波長はCCITTの2m法、もしくは実際の使用状態において測定された値をいうものとする。

【0024】上述の波長分散、分散スロープ、曲げ損失の目標値を満たす分散補償光ファイバは、光通信システムなどにおいて補償対象となる $1.3 \mu\text{m}$  SMFと組み合わせたときに、その波長分散を補償することができ、曲げ損失が小さく、光通信システム全体の分散スロープを小さくすることができる分散補償光ファイバとなる。

【0025】また、図1に示すW型プロファイルにおいて、中心コア部21aがゲルマニウムが添加された石英ガラスからなり、中間部21bがフッ素が添加された石英ガラスからなり、クラッド22が純石英ガラスからなるものを前提として検討した。

【0026】詳細なデータについては後述するが、本発明者らは $b/a$ を $2.5 \sim 3.5$ 、 $\Delta$ を $-0.08 \sim -0.2\%$ のそれぞれの範囲から適切に組み合わせて選択することによって、単峰型プロファイルを有する分散補償光ファイバよりも分散スロープを小さくできると同時に、従来のW型プロファイルを有する分散補償光ファイバよりも伝送損失が小さい分散補償光ファイバを提供することができることを見出した。具体的には波長 $1.55 \mu\text{m}$ 帯において、伝送損失が $0.39 \text{ dB/km}$ 以下の分散補償光ファイバが得られる。

【0027】 $b/a$ が $2.0$ 未満であると、単峰型プロファイルとの差が小さいため、W型プロファイルとした特性が得られず、分散スロープを小さくすることができない。 $b/a$ が $3.5$ をこえると波長分散が増加する傾向があるので、好ましい特性を得ることが難しい。

【0028】また、 $a$ は通常 $2.3 \sim 3.0 \mu\text{m}$ とされる。 $2.3 \mu\text{m}$ 未満であると曲げ損失が大きくなり、損失が大きくなるため好ましくなく、 $3.0 \mu\text{m}$ をこえると波長分散が増加する傾向があるので、好ましい特性が得られないことがある。 $b$ は $a$ と $b/a$ の値を決定すれば自ずと定まる。 $\Delta$ は $+2.0\% \sim +2.8\%$ とされる。 $+2.0\%$ 未満であると単位長さあたりの波長分散をマイナス側に大きくすることができないので、好ましい特性を得ることができず、 $+2.8\%$ をこえると現実的には製造が困難となる。

【0029】図3～6は $\Delta$ の値ごとに、W型プロファイルを有する分散補償光ファイバの中心コア部21aの外径 $a$ と、波長分散、分散スロープ、曲げ損失との関係のシュミレーション結果を示すものである。各グラフには $b/a$ の値毎にまとめられた曲線がそれぞれ示されている。また、波長分散、分散スロープ、曲げ損失の目標値の上限値がそれぞれ破線で示されている。さらに各グラフには比較のために単峰型プロファイルを有する分散補償光ファイバの特性が示されている。このとき $\Delta$ 、 $\Delta$ +は共通して+2.55%である。また図8は、 $\Delta$ を変化させた単峰型プロファイルのシュミレーション結果を示すグラフである。

【0030】図8より、単峰型プロファイルにおいては、本発明の分散補償光ファイバの特性値を満足する範囲が存在しないことがわかる。 $\Delta$ の値は上限が+2.8%とされているが、これをこえると現実的には製造が困難となる。

【0031】以下図3～図6に示すW型プロファイルを有する分散補償光ファイバの特性について検討する。図3は $\Delta$ が-0.2%の場合の結果を示すものである。図4は $\Delta$ が-0.1%の場合の結果を示すものである。図5は $\Delta$ が-0.08%の場合の結果を示すものである。図6は $\Delta$ が-0.07%の場合の結果を示すものである。これら図3～図6のグラフにおいて、コア径と曲げ損失との関係を示すグラフに示されている $b/a=2.0, \dots, 4.0$ の各曲線は、近接しているために重なって各々の判別が難しいものもあるが、 $b/a$ の値が大きいほど曲げ損失が大きい値をとる傾向がある。

【0032】図3～図5においては、一部上述の特性の目標値を満足する範囲が存在する。図6においては、本発明の特性の目標値を全て満足するものはない。図3～図5からわかるように、 $b/a$ と $\Delta$ の値が上述の範囲内であっても、本発明の分散補償光ファイバの波長分散、分散スロープ、曲げ損失の目標値を満足するとは限らない。すなわち本発明の特性の目標値を満足するためには、上述の $b/a$ と $\Delta$ の範囲からランダムに数値を選択すればよいわけではなく、 $a$ 、 $b$ 、 $\Delta$ の適切な組み合わせを、図3～図5に示すグラフから求めて設定する必要がある。

【0033】したがって、本発明の分散補償光ファイバは、 $b/a$ と $\Delta$ の数値範囲から特定することが困難である。このため本発明においては、前記 $b/a$ と $\Delta$ の数値範囲とともに、波長分散、分散スロープ、曲げ損失の値を限定することによって発明を特定するものである。このような特性は、従来の単峰型プロファイルあるいはW型プロファイルを有する分散補償光ファイバにおいては取り得ないものである。

【0034】ところで本発明の分散補償光ファイバは、特開平7-157328号公報に記載されている方法を利用し、VAD法によって製造することができる。

【0035】具体的には、VAD法によって、中心にゲルマニウム添加石英ガラスの微粒子を積層させ、この外周上に純石英ガラスの微粒子を積層させた円柱状の多孔質体を形成する。この多孔質体とは、酸水素バーナーなどを用い、VAD法によって火災中に発生したガラス微粒子を捕集してできる成形体である。この多孔質体はある程度の機械的強度を有し、気体が流通できる程度の空隙や気泡が全体にかなり残ったもので、光学的には不透明な状態となっている。前記多孔質体においては、中心のゲルマニウム添加石英ガラス微粒子の方が、外周部に配された純石英ガラス微粒子よりも融点が低くなっている。

【0036】について前記多孔質体を、塩素系ガス含有ヘリウムガス雰囲気中などで必要に応じて脱水処理した後、ヘリウムガス雰囲気中でゲルマニウム添加石英ガラス微粒子からなる中心部のみを透明ガラス化し、これに必要に応じて加熱延伸し、細く引き伸ばす。前記透明ガラス化温度はゲルマニウム添加石英ガラスの融点以上であり、かつ純石英ガラスの融点未満の温度とする。このような温度設定により、中心のゲルマニウム添加石英ガラス微粒子のみを透明ガラス化することができる。

【0037】について、好ましくは塩素系ガス含有ヘリウムガス雰囲気中で脱水処理した後、 $\text{SiF}_4$ ガスとヘリウムガスの混合雰囲気などのフッ素含有雰囲気中で純石英ガラスの融点以上に加熱し、前記純石英ガラス微粒子からなる外周部を透明ガラス化するとともに、この外周部にフッ素を添加し、中心コア部材と中間コア母材とからなる透明ガラス棒とする。さらにこの透明ガラス棒の外周上に、酸水素バーナーなどを用いてVAD法により純石英ガラス微粒子を積層させ、好ましくは塩素系ガス含有ヘリウムガス雰囲気中で脱水処理した後、ヘリウムガス雰囲気中で純石英ガラスの融点以上に加熱し、透明ガラス化してクラッド母材を形成し、プリフォームとする。最後にこのプリフォームを線引きして外径約125 $\mu\text{m}$ の光ファイバとする。

【0038】本発明の分散補償光ファイバにおいては、フッ素添加量が少ないため、中心コア母材にフッ素が混入することがほとんどない。このため、中間コア母材にフッ素を選択的に効率よく添加することができ、設計条件に対応した組成材料を用いることができる。すなわちゲルマニウムとフッ素は、屈折率を上昇あるいは低下させるために必要な最低量を用いればよく、また製造条件を定めるまでの予備実験の回数が少なくなり、低コスト化を図ることができる。また従来の製造方法と異なり、外削を行う必要も生じないので、偏波分散の上昇もない。

【0039】

【実施例】以下本発明の実施例を示して具体的に説明する。

(実施例1) 図1に示すW型プロファイルを有する光フ

ファイバを作製するにおいて、 $\Delta$ が $-0.1\%$ となるようにした。またコア径 $a$ を $2.7\mu\text{m}$ 、 $b/a$ を $3.5$ とした。製造方法は、中心コア母材と中間部母材を一連の工程で形成する行うVAD法を利用した方法を採用した。

【0040】まずVAD法により、酸水素バーナを用い、中心が26重量%のゲルマニウムが添加されたゲルマニウム添加石英ガラス微粒子からなり、その外周部が純石英ガラス微粒子からなる外径 $120\text{mm}$ の円柱状の多孔質体を作製した。この多孔質体の密度は $0.2\text{g}/\text{cm}^3$ であった。この多孔質体を約 $1000^\circ\text{C}$ の温度条件で、塩素系ガス含有ヘリウムガス雰囲気中にて脱水処理した後、ヘリウムガス雰囲気中 $1150^\circ\text{C}$ の温度条件で、中心のゲルマニウム添加石英ガラス微粒子のみのガラス化を進行させ、かさ密度を上昇させた。

【0041】この後約 $1420^\circ\text{C}$ の温度条件で、 $\text{SiF}_4$ ガス( $300\text{cc}/\text{min}$ )とヘリウムガス( $5\text{L}/\text{min}$ )の混合雰囲気中にて、外周部の純石英ガラス粒子を透明ガラス化するとともに、 $\Delta$ が $-0.1\%$ となるように $0.4$ 重量%のフッ素を添加した透明ガラス棒を作製した。この透明ガラス棒の断面のフッ素濃度分析を行ったところ、その中心の中心コア母材にはフッ素がほとんど含まれていないことがわかった。

【0042】この透明ガラス棒の外周上に、酸水素バーナを用いてVAD法により、純石英ガラス微粒子を積層させ、再び約 $1000^\circ\text{C}$ の温度条件で、塩素系ガス含有ヘリウムガス雰囲気中にて脱水処理した後、ヘリウムガス雰囲気中、約 $1500^\circ\text{C}$ で透明ガラス化するという工程を3回繰り返して外径 $40\text{mm}$ のプリフォームを得た。最後にこのプリフォームを線引きして外径 $125\mu\text{m}$ の光ファイバとした。

【0043】(実施例2)  $\Delta$ が $-0.2\%$ となるように $0.8$ 重量%のフッ素を添加することと、フッ素を添加する際に、 $\text{SiF}_4$ ガスの供給速度を $6\text{cc}/\text{min}$ 、ヘリウムガスの供給速度を $6\text{L}/\text{min}$ とした以外は、実施例1と同様にして製造した。

(実施例3) 中間部母材のフッ素の添加と透明ガラス化を別々の工程で行った以外は実施例1と同様とした。すなわち、ゲルマニウム添加石英ガラス微粒子と純石英ガラス微粒子とからなる二層構造の多孔質体を形成し、その中心のゲルマニウム添加石英ガラス微粒子のみのガラス化を $1150^\circ\text{C}$ の温度条件で進行させ、かさ密度を上昇させた。ついで約 $1200^\circ\text{C}$ の温度条件で、 $\text{SiF}_4$ ガス( $1\text{cc}/\text{min}$ )とヘリウムガス( $6\text{L}/\text{min}$ )の混合雰囲気中にて、外周部の純石英ガラス粒子からなる部分に $\Delta$ が $-0.1\%$ となるように $0.4$ 重量%のフッ素を添加した後、 $1420^\circ\text{C}$ の温度条件で、ヘリウムガス雰囲気中で透明ガラス化して透明ガラス棒を作製した。

【0044】表1に実施例1～3の分散補償光ファイバ

の特性を示す。MFDはモードフィールド径、FOM(性能指数)は単位損失あたりの波長分散量を示す。カットオフ波長( $\lambda_c$ )はCITTの2m法によって測定した値である。表1より、本発明に係る実施例1～3の分散補償光ファイバは、本発明の波長分散、分散スロープ、曲げ損失の目標値を満足している。そして、伝送損失が小さく、偏波分散も小さくなっている。また実施例1と実施例3においては、中間部母材の透明ガラス化とフッ素の添加を一度に行っても別々の工程で行ってもほぼ同じ特性値が得られることが確認できた。

【0045】(比較例1) 単峰型屈折率プロファイルを有する光ファイバを作製した。VAD法により、中心が25重量%のゲルマニウムが添加されたゲルマニウム添加石英ガラス微粒子からなり、外周部が純石英ガラス微粒子からなる外径 $120\text{mm}$ の円柱状の多孔質体を作製した。この多孔質体の密度は $0.2\text{g}/\text{cm}^3$ であった。この多孔質体を約 $1000^\circ\text{C}$ の温度条件で、塩素系ガス含有ヘリウムガス雰囲気中にて脱水処理した後、約 $1500^\circ\text{C}$ の温度条件でヘリウムガス雰囲気中にて透明ガラス化し、透明ガラス棒とした。

【0046】ついでこの透明ガラス棒を加熱延伸し、細く引き伸ばした。さらにその外周上に、酸水素バーナを用いてVAD法により、純石英ガラスの微粒子を積層させ、再び約 $1000^\circ\text{C}$ の温度条件で、塩素系ガス含有ヘリウムガス雰囲気中にて脱水処理した後、約 $1500^\circ\text{C}$ の温度条件で、ヘリウムガス雰囲気中にて透明ガラス化するという工程を3回繰り返して、外径 $40\text{mm}$ のプリフォームを得た。最後にこのプリフォームを線引きして外径 $125\mu\text{m}$ の光ファイバとした。

【0047】この比較例1の光ファイバは、図7に示す単峰型の屈折率プロファイルを有し、コア径は $2.5\mu\text{m}$ で、コアとクラッドとの比屈折率差は $2.5\%$ であった。この光ファイバの特性を表2に示す。表2よりこの単峰型プロファイルを有するものは、分散スロープが大きいたことがわかる。

【0048】(比較例2) 図1に示すW型プロファイルを有する光ファイバを作製するにおいて、 $\Delta$ が $-0.35\%$ 、 $b/a$ が $2.5$ となるようにした。製造方法は、VAD法によって中心コア部母材を形成した後、この中心コア部母材の外周に、中間部母材とクラッド母材を順次別々の工程で製造する方法を採用することとした。

【0049】まず酸水素バーナを用いてVAD法により、25重量%のゲルマニウムが添加されたゲルマニウム添加石英ガラス微粒子からなる外径 $30\text{mm}$ 、密度 $0.25\text{g}/\text{cm}^3$ の円柱状の多孔質体を作製した。この多孔質体を約 $1000^\circ\text{C}$ の温度条件で、塩素系ガス含有ヘリウムガス雰囲気中にて脱水処理した後、約 $1400^\circ\text{C}$ の温度条件でヘリウムガス雰囲気中にて透明ガラス化し、透明ガラス棒とした。この透明ガラス棒は高濃度



にゲルマニウムを含むために表面が円滑ではなかったの  
で、外削によって滑らかにした。ついでこの透明ガラス  
棒を加熱延伸し、細く引き伸ばした。

【0050】この延伸された透明ガラス棒の外周上に、  
酸水素バーナを用いてVAD法により、純石英ガラス微  
粒子を積層させた。ついで、再び約1000℃の温度条  
件で塩素系ガス含有ヘリウムガス雰囲気中にて脱水処  
理した後、約1380℃の温度条件でSiF<sub>4</sub>ガス(30  
0cc/min)とヘリウムガス(5L/min)の混  
合雰囲気中にて1.2重量%のフッ素を添加するととも  
に透明ガラス化した。

【0051】さらにこの透明ガラス棒の外周上に、酸水  
素バーナを用いてVAD法により、純石英ガラス微粒子  
を積層させ、再び約1000℃の温度条件で、塩素系ガ  
ス含有ヘリウムガス雰囲気中にて脱水処理した後、約1  
500℃の温度条件でヘリウムガス雰囲気中にて透明ガ  
ラス化するという工程を3回繰り返して外径40mmの  
プリフォームを得た。最後にこのプリフォームを線引き  
して外径125μmの光ファイバとした。

【0052】表3にこの光ファイバの特性を示す。Δ-  
が-0.35%であり、その絶対値が大きかったのでフ  
ッ素の添加量を多くする必要がある、伝送損失が大き  
くなった。また偏波分散が大きいの、中心コア部母材表  
面の外削を行ったためである。

【0053】(比較例3)図1に示すW型プロファイル  
を有する光ファイバを作製するにおいて、Δ-が-0.  
35%、b/aが2.5となるようにした。製造方法  
は、中心コア母材と中間部母材の多孔質体の形成と透明  
ガラス化、フッ素の添加を一連の工程で行うVAD法を  
利用した方法を採用した。

【0054】最初に中心が26重量%のゲルマニウムが  
添加されたゲルマニウム添加石英ガラス微粒子からな  
り、その外周が純石英ガラス微粒子からなる外径120  
mmの円柱状の多孔質体を作製した。この多孔質体の密  
度は0.2g/cm<sup>3</sup>であった。この多孔質体を10  
00℃の温度条件で、塩素系ガス含有ヘリウムガス雰  
囲気中にて脱水処理した後、ヘリウムガス雰囲気中115  
0℃の温度条件で、中心のゲルマニウム添加石英ガラ  
ス微粒子のみガラス化を進行させ、かさ密度を上昇させ

た。

【0055】この後約1380℃の温度条件で、SiF<sub>4</sub>  
ガス(300cc/min)とヘリウムガス(5L/  
min)の混合雰囲気中にて、外周部の純石英ガラス粒  
子からなる部分を透明ガラス化するとともに、1.2重  
量%のフッ素を添加した透明ガラス棒を作製した。

【0056】ところがこの透明ガラス棒の各部分の屈折  
率を測定したところ、中心コア母材の屈折率がはじめ  
のゲルマニウム添加石英ガラス粒子のものよりも低下して  
おり、フッ素の添加の影響を受けていることがわかった。  
また、ゲルマニウム添加石英ガラス微粒子のガラス化を  
進行させ、そのかさ密度を上昇させるために行った加熱  
処理温度を1200℃としたところ、その外周部の純石  
英ガラス粒子部分に十分にフッ素を添加することができ  
なかった。このため、この屈折率低下の分を見越して、  
最初からゲルマニウムを実際の中心コア部21aの屈折  
率よりも高くなるように、29重量%のゲルマニウムを  
添加したゲルマニウム添加石英ガラス粒子を用いて、上  
述と同様の操作で再び透明ガラス棒を製造したところ、  
はじめのゲルマニウム添加石英ガラスの屈折率よりも低  
下したものの、所望の中心コア母材の屈折率が得られ  
た。

【0057】この透明ガラス棒の外周上に、酸水素バー  
ナを用いてVAD法により、純石英ガラス微粒子を積層  
させ、再び約1000℃の温度条件で、塩素系ガス含有  
ヘリウムガス雰囲気中にて脱水処理した後、ヘリウムガ  
ス雰囲気中、約1500℃で透明ガラス化するという工  
程を3回繰り返して外径40mmのプリフォームを得  
た。最後にこのプリフォームを線引きして外径125μ  
mの光ファイバとした。

【0058】表3にこの光ファイバの特性を示す。Δ-  
が-0.35%であって、フッ素の添加量を多くする必  
要があったため、伝送損失が大きくなった。また、上述  
のように中心コア母材の屈折率下降分を見越してゲルマ  
ニウムの添加量を多くする必要があるため、コストが高  
くなることがわかった。

【0059】

【表1】

	b/a	Δ-	伝送損失 dB/km @1550nm	波長分散 ps/nm/km @1550nm	分散 スロープ ps/nm <sup>2</sup> /km	曲げ損失 dB/km @1550nm	偏波分散 ps/rk @1550nm	MFD μm @1550nm	λc μm	FOM ps/nm/km @1550nm
実施例1	3.5	-0.10	0.38	-84	+0.05	0.40	0.15	5.5	0.73	221
実施例2	3.5	-0.20	0.39	-88	-0.04	0.43	0.15	4.5	0.74	226
実施例3	3.5	-0.10	0.37	-84	+0.05	0.40	0.15	5.5	0.73	227

測定値は1.55μm。偏波分散は1.55μm帯。

【0060】

【表2】

伝送損失	0.37dB/km
波長分散	75ps/nm/km
分散スロープ	+0.13ps/nm <sup>2</sup> /km
偏波分散	0.15ps/rkm
MFD	5.0 $\mu$ m
FOM (性能指数)	202ps/nm/dB

【0061】

【表3】

測定値は1.55 $\mu$ m。偏波分散は1.55 $\mu$ m帯。

	b/a	$\Delta$	伝送損失 dB/km @1550nm	波長分散 ps/nm/km @1550nm	分散 スロープ ps/nm <sup>2</sup> /km	曲げ損失 dB/km @1550nm	偏波分散 ps/rkm	MFD $\mu$ m @1550nm	$\lambda_c$ $\mu$ m	FOM ps/nm/dB @1550nm
比較例2	2.5	-0.35	0.45	-120	-0.49	0.8	0.30	4.4	0.80	288
比較例3	2.5	-0.35	0.55	-120	-0.49	0.8	0.15	4.4	0.80	218

測定値は1.55 $\mu$ m。偏波分散は1.55 $\mu$ m帯。

【0062】実施例1～3、比較例1～3の結果から、本発明に係る分散補償光ファイバは、1.3SMFを補償することができる十分に小さい負の波長分散の値を有し、かつ分散スロープが小さいものである。さらにはフッ素の添加量が少ないため、コストが低くなるとともに、伝送損失が小さいものである。また実際の製造においては、フッ素の添加が影響して中心コア母材の屈折率が低下することが少ないので、VAD法を利用した方法によって一連の操作で中心コア部母材と中間部母材を作製することができ、効率的である。このようにドーパントが相互に影響し合うことが少ないので、設計条件にあわせて材料組成を設定すれば、所望の比屈折率差 $\Delta$ 、 $\Delta$ ＋が得られる。したがってドーパントの添加量が少なく、かつ製造条件を定めるまでの予備実験回数が少なく、さらにコストダウンを図ることができる。

【0063】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の分散補償光ファイバは、b/aを2.5～3.5、 $\Delta$ を-0.08～-0.2%のそれぞれの範囲から適切に組み合わせることで、単峰型プロファイルの有する分散補償光ファイバよりも分散スロープを小さくすることができると同時に、従来のW型プロファイルの有する分散補償光ファイバよりも伝送損失が小さい分散補償光ファイバを提供することができる。この結果、光通信システムなどにおいて補償対象となる1.3 $\mu$ mSMFと組み合わせたときに、その波長分散を補償することができ、曲げ損失が小さく、低損失で、分散スロープが小さい分散補償光ファイバが得られる。また、フッ素の添加量を従来より大幅に少なくすることができるので低コストである。

【0064】さらに本発明の分散補償光ファイバは、中間部のフッ素添加量が少ないため、純石英ガラスの融点とドーパントが添加された石英ガラスの融点の違いを利用したVAD法を利用した製造方法によって、ゲルマニウムとフッ素を選択的に効率よく添加して製造することができる。このためゲルマニウム、フッ素の添加量を必要最低限にすることができ、また製造条件を定めるまでの予備実験の回数が少なくなり、低コスト化を図ることができる。また従来の製造方法のように、外削を行う必要も生じないので、偏波分散の上昇もない。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の分散補償光ファイバの屈折率プロファイルであるW型プロファイルの一例を示す図である。

【図2】 W型プロファイルの中間部へのフッ素の添加による $\Delta$ の変化と分散補償光ファイバの伝送損失との関係を示すグラフである。

【図3】  $\Delta$ が-0.2%の場合の、W型プロファイルの中心コア部の外径aと、波長分散、分散スロープ、曲げ損失との関係のシュミレーション結果を示すグラフである。

【図4】  $\Delta$ が-0.1%の場合の図3と同様のグラフである。

【図5】  $\Delta$ が-0.08%の場合の図3と同様のグラフである。

【図6】  $\Delta$ が-0.07%の場合の図3と同様のグラフである。

【図7】 従来の分散補償光ファイバに用いられる単峰型の屈折率プロファイルを示す図である。

【図8】 単峰型プロファイルのコア径と、波長分散、分散スロープ、曲げ損失との関係のシュミレーション結



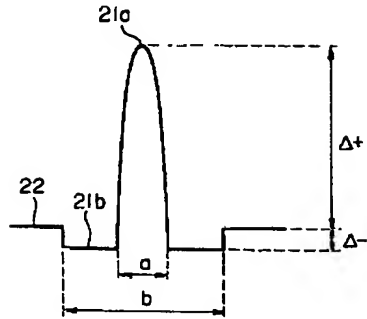
果を示すグラフである。

【符号の説明】

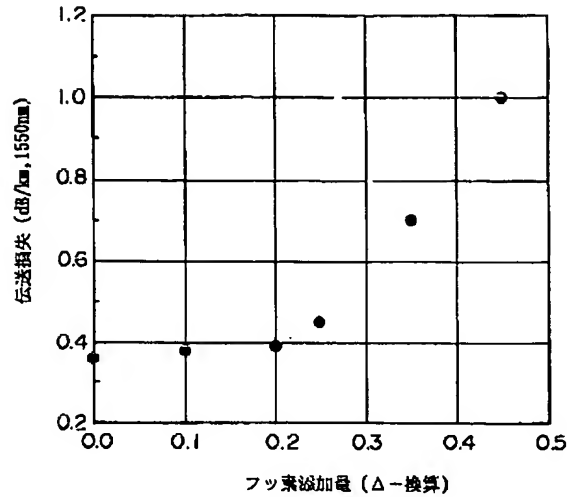
21a…中心コア部、21b…中間部、22…クラッド

ド、a…中心コア部の外径、b…中間部の外径、 $\Delta$ …クラッドと中間部との比屈折率差、 $\Delta$ +…クラッドと中心コア部との比屈折率差。

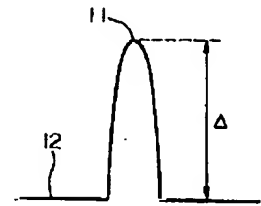
【図1】



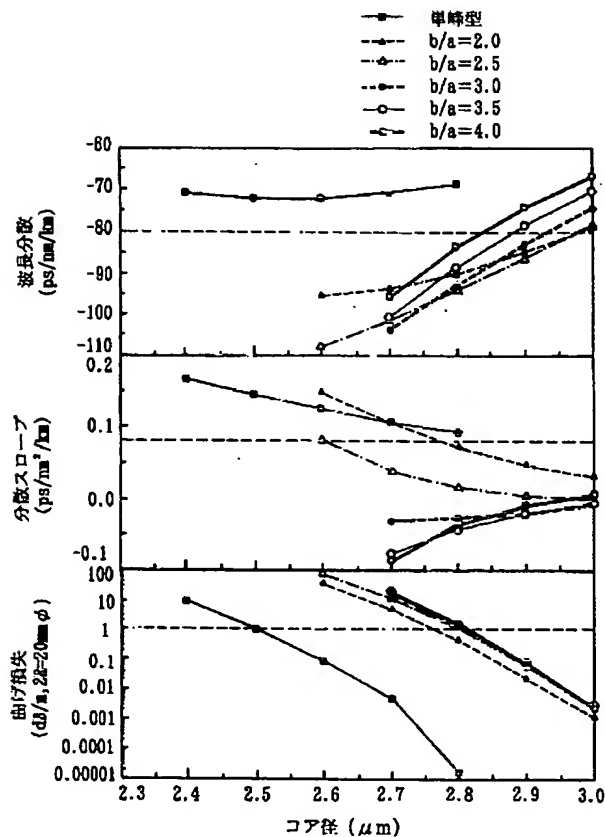
【図2】



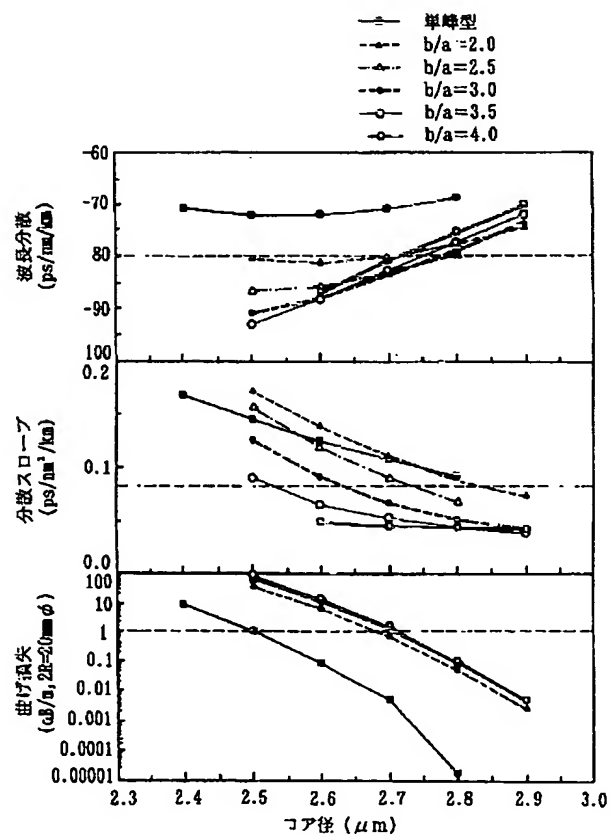
【図7】



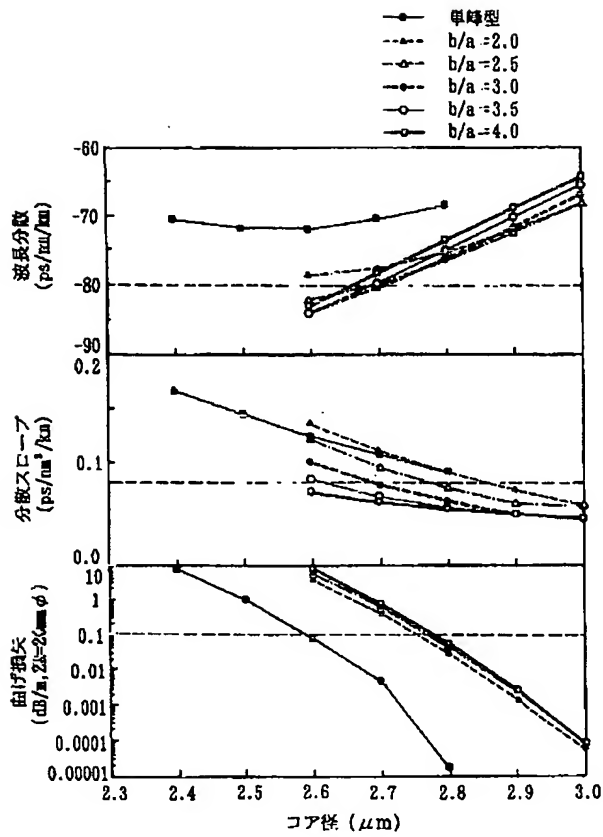
【図3】



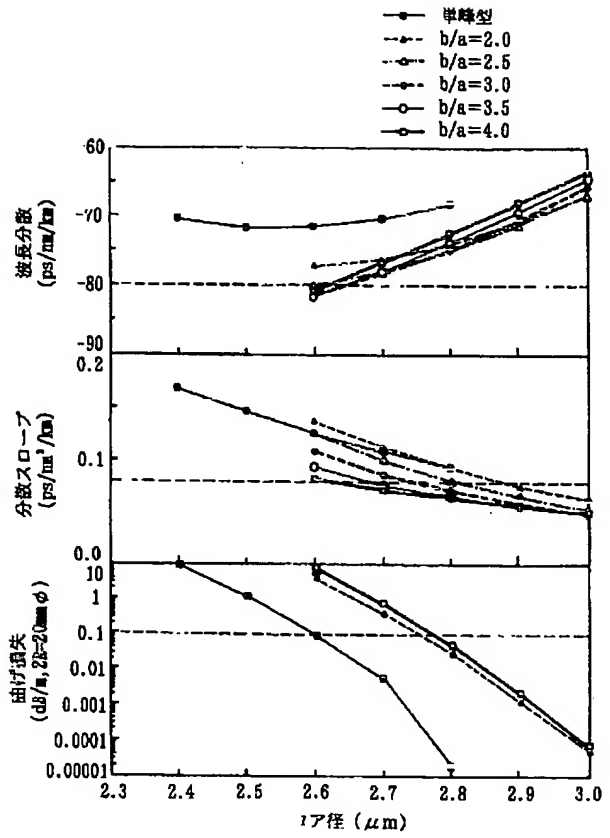
【図4】



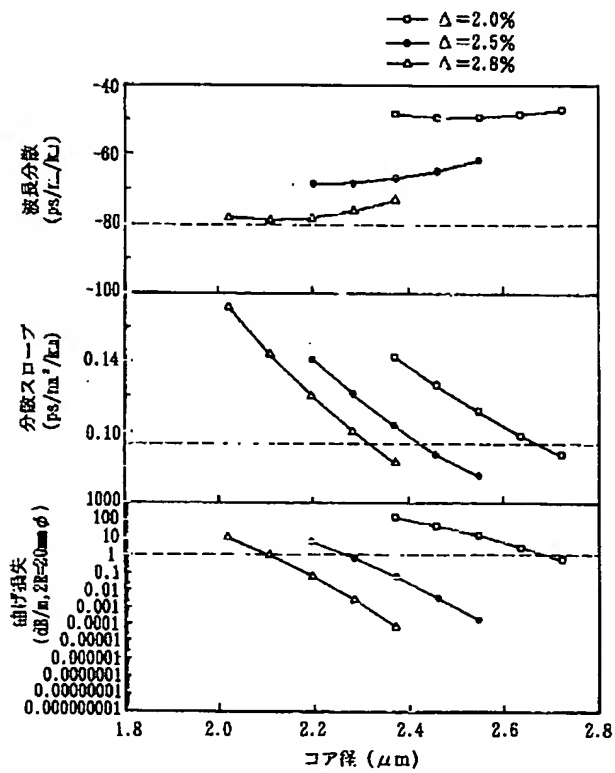
【図5】



【図6】



【図8】



フロントページの続き

(72)発明者 山内 良三

千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社フジ  
クラ佐倉工場内